

Comportamiento de la Activación en la Corteza Cerebral por Efecto de Funciones Ejecutivas en Ejercicio físico en Estudiantes Universitarios

Gonzalez, J.P¹; Garavito F.R²

Resumen

Con el descubrimiento de las señales eléctricas en el cerebro, se abre todo un campo de estudio sobre su comportamiento en distintas situaciones y entornos. Dentro de la fisiología deportiva se ha buscado observar la manera en que las señales se alteran y como dichas alteraciones se ven reflejadas en la conducta del organismo. Es por esto por lo que esta investigación busca describir el efecto que genera el ejercicio físico en las 3 tareas de la prueba Stroop en estudiantes universitarios a partir del comportamiento de las ondas beta, partiendo de la idea que el ejercicio físico logra mejorar la función ejecutiva que determina la conducta. **Metodología :** Se llevó a cabo un estudio de diseño cuasi-experimental teniendo en cuenta la influencia del estímulo de funciones cognitivas sobre la activación en señales eléctricas de ondas cerebrales Beta. Se estudiaron 8 sujetos, de la Universidad Santo Tomas de la carrera Cultura Física, deporte y Recreación, Sede Bogotá, quienes fueron expuestos a un protocolo de ejercicio físico junto con una prueba neuropsicológica llamada Stroop. Previamente se firmó consentimiento informado, se realizaron pruebas psicométricas (Mini mental), así como evaluación de la actividad física (IPAQ), se manejaron criterio de respeto, honestidad y libertad para con los sujetos y sus datos. Se realizó la medición por medio del sistema Emotiv EpocX de 14 canales en prueba de electroencefalografía, Bicicleta estática Cyclus II y se apoyó el estudio con datos antropométricos previamente obtenidos de los sujetos. Los datos recopilados se procesaron por medio de software estadístico SPSS26 así como script software Matlab2023 con paquete de datos de lectura de señales eléctricas **Conclusión:** Las pruebas demostraron ser eficaces en el entendimiento de la función ejecutiva y la velocidad de procesamiento. La activación de la corteza prefrontal depende del nivel de dificultad de la tarea realizada y el estímulo de activación. Tanto la velocidad de procesamiento como el control por inhibición logran activar las señales eléctricas de ondas beta en el cerebro. Entre más compleja sea la tarea, habrá una mayor actividad de las ondas obligando a un mayor esfuerzo.

Palabras clave

Stroop, Ejercicio físico, Corteza prefrontal, función ejecutiva, Control por inhibición, Electroencefalografía

¹Estudiante de Cultura Física, Deporte y Recreación, ²Docente-Investigador, Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación.

Behaviour of Activation in the Cerebral Cortex by the Effect of Executive Functions on Physical Exercise in University Students

With the discovery of electrical signals in the brain, a whole field of study has opened up about its behaviour in different situations and environments. Within sports physiology, the aim has been to observe the way in which the signals are altered and how these alterations are reflected in the organism's behaviour. This is why this research seeks to describe the effect that physical exercise generates in the 3 tasks of the Stroop test in university students based on the behaviour of beta waves, starting from the idea that physical exercise manages to improve the executive function that determines behaviour. Methodology: This is a quasi-experimental cross-sectional correlational study which seeks the relationship between processing speed and control by inhibition in the behaviour of the electrical signals of brain waves. Eight subjects were studied, from the Universidad Santo Tomas of the Physical Culture, Sport and Recreation course at the Bogotá campus, who were exposed to a physical exercise protocol together with a neuropsychological test called Stroop. Prior informed consent was signed, psychometric tests were performed (Mini mental), as well as evaluation of physical activity (IPAQ), criteria of respect, honesty and freedom were handled with the subjects and their data. Measurement was carried out by means of the Emotiv EPOC X 14-channel electroencephalography test system, Cyclus exercise bike and the study was supported by anthropometric data previously obtained from the subjects. The data collected were processed by means of SPSS26 statistical software as well as Matlab2023 script software with electrical signal reading data package. Conclusion: The tests proved to be effective in understanding executive function and processing speed. The activation of the prefrontal cortex depends on the level of difficulty of the task performed and the time taken to perform it.

Keywords: Stroop, physical exercise, prefrontal cortex, executive function, inhibitory control, Electroencephalography.

Introducción

El efecto Stroop es conocido como un fenómeno comportamental referido a reacciones prolongadas en donde las letras impresas y el tono de color de estas, difieren en el representado por la palabra (Okayasu et al, 2022) y que fue reunido en una prueba que lleva su mismo nombre. Este fenómeno, es un proceso único generado por humanos debido a que se relaciona con el lenguaje y su resolución requiere de un alto control cognitivo ya que se divide en dos partes de procesamiento,

la percepción y la respuesta vocal, que requieren de distintas partes del cerebro (Sakai et al, 2003, citado por Okayasu, 2022). Su intención es el poder medir la función ejecutiva y valorar aspectos de esta como la atención selectiva y en especial el control inhibitorio (Golden, C.J. 2005), dividido en 3 tareas o subfases, lectura de palabras, tarea de identificación de colores y tarea de interferencia, medible por medio de señales eléctricas. Dichas señales pueden ser observadas por medio de sistemas como la electroencefalografía (EEG) que permiten mostrar el comportamiento mediante ondas durante distintos procesos mecánicos o durante procesos de resolución de conflictos donde los mecanismos de atención y memoria entran en acción basado en una actividad rítmica entre cada onda y con una respectiva frecuencia medible en Hertz (Hz).

La funcionalidad de la electroencefalografía como técnica de exploración del Sistema Nervioso Central (SNC) facilita el entender la acción del organismo durante procesos locomotores y permite lograr distintas aplicaciones en procesos cognitivos (Gebodh et al, 2018). Ahora bien, la actividad cerebral se clasifica a partir de ondas de oscilación eléctricas que determinan el estado del organismo. Estas variaciones de potencial eléctrico se registran en el espacio tiempo y se categorizan en diferentes bandas de frecuencia que van aproximadamente desde los 0.05 Hz, hasta los 500Hz, que permiten interpretar todo acto cognitivo a partir de una frecuencia ensamblada de forma específica. Estas frecuencias se distribuyen en 5 tipos, Alfa (8 a 13 Hz), Beta (13 a 30 Hz), Delta (0,5 a 4 Hz), Theta (4 a 8 Hz) y Gamma (30 a 50 Hz), cada una representa los diferentes estados de cognición del ser humano, donde las ondas beta específicamente se encargan de los procesos en los que el organismo se encuentra en alerta comúnmente dominantes en procesos de actividad mental y son observables con notoriedad en la zona anterior (frontales) (Barret et al, 2013, citado en UNAM s,f). En el ámbito de la Actividad física, existe la relación documentada entre efectos del ejercicio físico en diversos tipos de atención y la memoria, inherentes de la acción

de las ondas beta cerebrales (Rodríguez, 2019), por ejemplo, Imbodem C et al (2020) concluyo que el ejercicio físico logra generar una protección de la memoria a largo plazo. Esto se soporta en la evidencia de que la realización de trabajos motores complejos permite mejorar la función cognitiva por medio de la liberación hormonal que ayuda a reducir estrés y mantener al organismo en un estado consciente (Contreras-Osorio F et al, 2022) necesario para realizar procesos selectivos en la toma de decisiones necesarias para este estudio.

Por otra parte, estudios en población mayor demostraron que el ejercicio físico aeróbico genera una mejora en el tamaño del hipocampo promoviendo la neurogénesis en dicha estructura cerebral, que se encarga de los procesos de memoria (Duzel E, et al, 2016: Vivar C, et al, 2023) además de generar un aumento en las neurotrofinas, específicamente el Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro (BDNF) relacionado con una mejora morfológica del tejido cerebral (Voss M et al, 2019). Además, es en la adolescencia una de las etapas donde más se utiliza la función cognitiva ya que se redefinen distintos comportamientos y patrones de acuerdo a la toma de decisiones marcadas desde la preadolescencia, hasta los 25 donde el cerebro termina su proceso de maduración (Tervo-Clemmens et al., 2023), siendo aproximadamente la etapa universitaria donde los efectos en la función cognitiva son más prominentes. Sin embargo, existen ideas contrarias entre autores quienes afirman que no existen estudios que permitan ver el efecto del ejercicio físico sobre las funciones cognitivas centrada en la Actividad Eléctrica Cerebral (AEC) (Cid F.M ,2018), siendo la mayoría de los estudios sobre el tema enfocados en diferenciar el comportamiento del cerebro en las distintas disciplinas deportivas o en la diferenciación neuro eléctrica tras la ejecución de un gesto deportivo correcto e incorrecto (Ludyga, Gronwald & Hottenrott, 2016) o también no hallaron el efecto esperado en la función ejecutiva en comparación con quienes solo tenían requerimientos cognitivos (Stein et al, 2017).

En contraste, autores muestran evidencias notorias de la actividad física sobre la AEC, argumentando que el ejercicio físico logra mejorar la señal eléctrica gracias a la acción sobre mecanismos causados por el desarrollo natural del organismo (Erickson K, et al, 2013) donde el cerebro ha completado su proceso de desarrollo y donde la función ejecutiva es más prominente (Flores-Lázaro et al., 2014), llevando la discusión hacia un punto medio donde no se detalla con claridad los beneficios del ejercicio físico en el cerebro. Es por esto por lo que esta investigación busca identificar el comportamiento de la activación en la corteza cerebral al incluir tareas de velocidad de procesamiento y control por inhibición en ejercicio físico en estudiantes universitarios a partir del comportamiento de las ondas beta, partiendo de la idea que el ejercicio físico si logra mejorar la función ejecutiva en el cerebro.

Materiales y métodos

Se llevo a cabo un estudio cuasi experimental teniendo como variable independiente los estímulos ofrecidos por el test Stroop y como variable dependiente las ondas Beta medidas por electroencefalografía. El muestreo fue no probabilístico a conveniencia. Se tuvo en cuenta criterios el respeto hacia los participantes, el derecho de los mismos a conocer resultados de las pruebas, así como transparencia de los datos según declaración de Helsinki (1964) (Editorial E, 2008) Resolución 8430 de 1996 del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia y bajo el consentimiento del Comité de Bioética de la Investigación de la Universidad Santo Tomás (CEBIC) bajo el Acta #03 de 2022. Se recopilaron datos de 8 jóvenes universitarios masculinos pertenecientes a la Universidad Santo Tomas, de la carrera de Cultura física, Deporte y Recreación, sede Bogotá. La edad mínima fue de 19 y la máxima de 23 años, y una media de $19,5 \pm 0,8$. Se tuvo en cuenta como criterios de inclusión y exclusión, el estar dentro del rango de edad estipulado

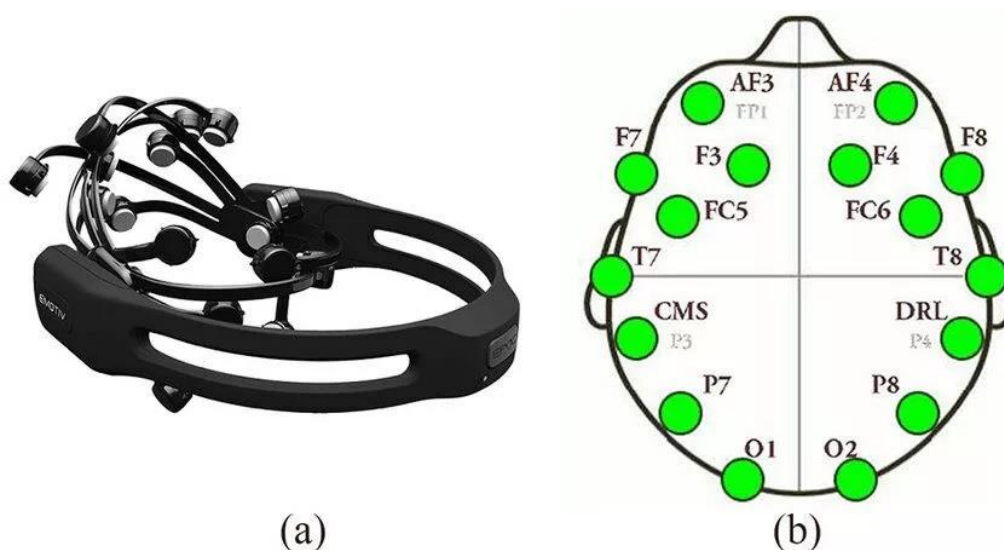
además del sexo de los participantes (masculino), lograr puntajes superiores a 24 en la prueba Minimental tener un nivel de actividad física IPAQ mayor a 3500 Kcal además haber diligenciado encuesta sociodemográfica. Todos los sujetos son aparentemente sanos sin lesiones ni impedimentos cognitivos que evitarían la realización de la prueba, y no consumen sustancias sintéticas para mejorar el rendimiento. Las pruebas psicométricas estuvieron a cargo y en supervisión de un profesional en psicología.

Los sujetos fueron expuestos a un protocolo de ejercicio continuo uniforme extensivo junto con pruebas de análisis de función ejecutiva. La prueba se organizó con 10 minutos de medición de tasa metabólica en reposo (Redondo, 2015). Acto seguido, se colocó al sujeto en una bicicleta estática para realizar 10 minutos de drifting (Souissi A, et al, 2021) para lograr llegar al umbral ventilatorio 1 (VTI), dicho valor fue evaluado por ergo espirometría en una prueba escalonada maximal (Peinado et al, 2014). Por último, se procedió a realizar ejercicio físico en cicloergómetro ($60\% \pm 5\%$ del VO_{2Max} por 20 minutos, $VTI=75 \text{ Watts} \pm 5W$), donde realizó la prueba Stroop y a la toma de las medidas por electroencefalografía

Durante la prueba de esfuerzo aeróbico se les pidió resolver las tareas pertenecientes a la prueba STROOP (Grodzinsky G.M & Diamond R, 1992), y se tomaron datos. Las mediciones se realizaron por medio del dispositivo electroencefalográfico EMOTIV EPOCTX de 14 canales con tasa de muestreo de 256 Hz y con filtro bajo-alto de 50-100 Hz respectivamente (Gitbook s,f), los datos fueron recopilados en bases de Excel. No se tuvo en cuenta grupo control basado en la “hipótesis de estimulación cognitiva” (Best, J.R 2010)

Figura 1 Colocación de electrodos dispositivo EMOTIV EPOC X por posicionamiento

10/20



Nota: Benetatos C, (2017), imagen, JPEG, 4 Sistema de posicionamiento de electrodos de Emotiv-EPOCx, <https://xribeneseite.wordpress.com/2017/10/13/emotiv-epoc-ssvep-bci-part-1/>.

Frontal (F), hemisferio derecho (números pares), hemisferio izquierdo (números impares)

Para los datos de electroencefalografía, se procesaron por medio de códigos de EEG en Matlab 2023, usando el paquete de herramientas descargable de procesamiento de señales, partiendo de una lectura de datos de tiempo representados en unidades del sistema operativo unix timestamp para convertirlos en unidades de tiempo de horas, minutos y segundos, junto con la

diferenciación de los datos de los nodos correspondientes a la corteza frontal (AF3, AF4, F3, F4, F7, F8) (Gitbook s,f), según la columna de marcadores de las subfases del Stroop codificadas por color asociado a cada tarea (N, C, COM).

Acto seguido, se clasificaron los datos de cada uno de los nodos por longitud de onda, tiempo de duración, frecuencia (50-100) y señal (13-30). Se filtró la frecuencia de la señal a los parámetros de las ondas beta por transformada de Fourier y se analizó dentro de una guía de muestreo de 256Hz por filtro pasa banda de entre 13 y 30 Hz (señal de ondas beta). Por último, se graficaron los datos obtenidos ilustrando la Media Cuadrática (RMS) por cada nodo y se reorganizó dicha variable en tablas de Excel.

Análisis Estadístico

Para comprobar el supuesto de normalidad se realizó la prueba de Shapiro-Wilk y test de Levene para determinar Homocedasticidad entre las variables. Se llevó a cabo una prueba ANOVA Factorial de medidas repetidas comparando las partes de la corteza de acuerdo a cada tarea del Stroop (Tabla 3,3.1,3.2). Se ajustaron los valores por test Post Hoc de Bonferroni para comparar diferencias de medias entre las variables de salida. Se consideró un valor de $p < 0.05$ con un nivel de confianza del 95% para evaluar la significancia estadística de los resultados.

Resultados

Tabla 1

Demográficos distribuidos por edad, talla, peso, nivel de educación, estrato y puntaje Minimental

N	Edad		talla		kg	
	M	SD	M	SD	M	SD
8	19,5	0,76	173	6,44	70,64	3,92

Nota: Talla en cm(Talla); Peso en kilogramos(kg). Fuente: Creacion propia

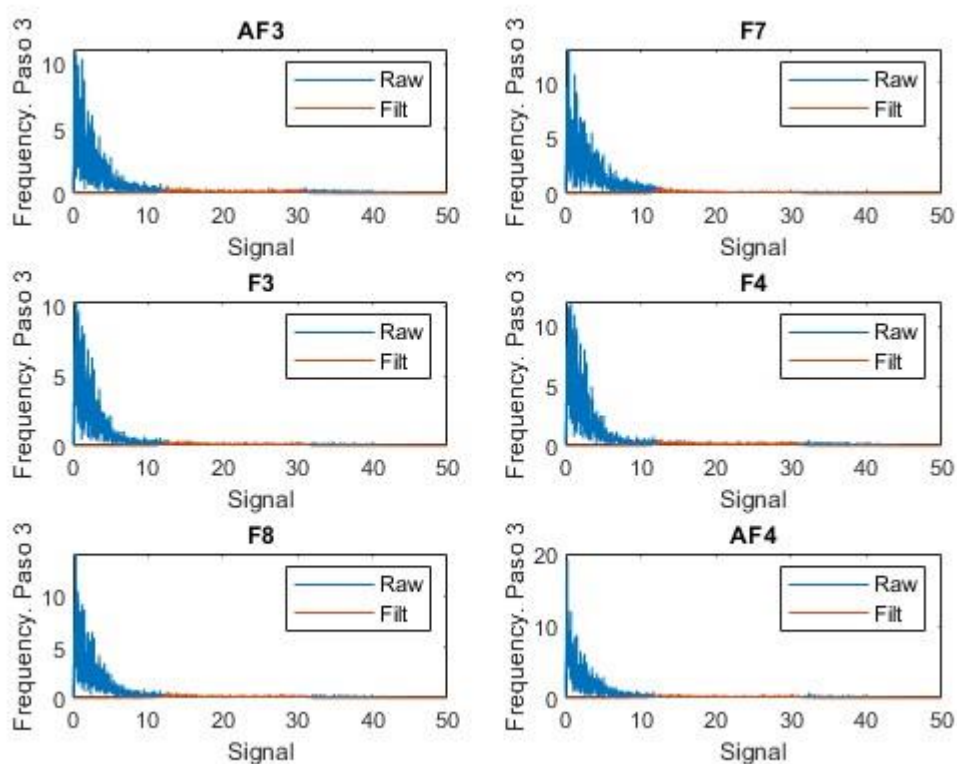
Tabla 2

Demográficos porcentual por puntaje Minimental, Estrato y nivel de educación

Puntaje	MM		NSE		Lv Edu	
		%	Nv	%	Sem	%
25		13%	3	75%	3	100%
26		13%	4	25%		
26		75%				

Nota: Semestre cursado (lv Edu); Nivel socioeconomico(NSE), Mini mental=(MM). Fuente: Creacion propia

Figura 2
filtrado por frecuencia de ondas beta- Stroop (N)



Nota: Se muestra la frecuencia obtenida por nodo en cada prueba, donde la línea delgada cercana al eje (X) muestra la frecuencia de medida de ondas beta, representada en naranja. Señal ondas beta (Signal), Datos completos (Raw), Datos filtrados (Filt). FUENTE=Creación propia

Tabla 3
Comparación de zonas por tarea (N)

NEGRO					
AF	FL	FS	P Valor		
M (DS)	M (DS)	M (DS)	AF VS FL	AF vs FS	FL vs FS
10,81(5,45)	11,19(6,11)	10,61(5,12)	1,000	0,884	0,358

Nota: Media (Desviacion standar)=M(SD), Antero frontal=(AF), Frontal superior=(FS), Frontal lateral=(FL). FUENTE=Creacion propia

Tabla 3.1
comparación de zonas por tarea (C)

COLOR					
AF	FL	FS	P Valor		
M (DS)	M (DS)	M (DS)	AF VS FL	AF vs FS	FL vs FS
11,96(6,62)	12,32(7,52)	11,82(6,27)	1,00	1,00	0,83

Nota: Media (Desviacion standar)=M(SD), Antero frontal=(AF), Frontal superior=(FS), Frontal lateral=(FL). FUENTE=Creacion propia

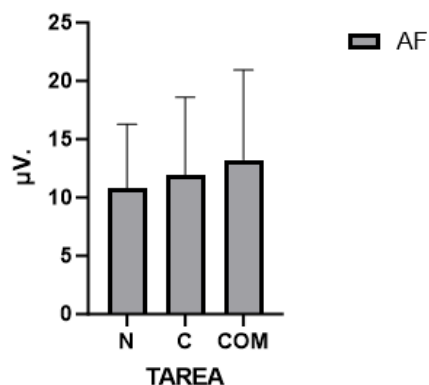
Tabla 3.2
Comparación de zonas por tarea (COM)

COMBINADO					
AF	FL	FS	P Valor		
M (DS)	M (DS)	M (DS)	AF VS FL	AF vs FS	FL vs FS
13,23(7,70)	14,16(9,20)	13,48(7,83)	1,00	0,587	0,558

Nota: Media (Desviacion standar)=M(SD), Antero frontal=(AF), Frontal superior=(FS), Frontal lateral=(FL). FUENTE=Creacion propia

Figura 3

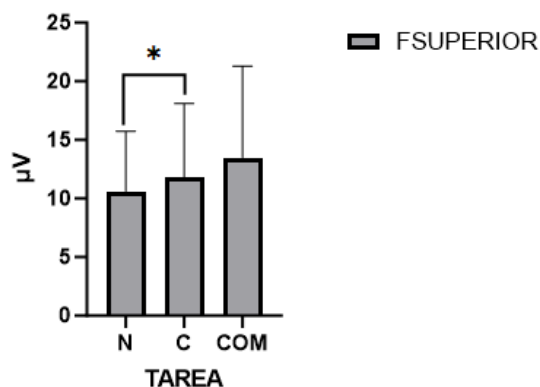
comparación de media por prueba en AF (AF3, AF4)



Nota: medias entre tareas zona antero frontal, se realizó a partir del RMS encontrados, medida en microvoltios (μV). Antero frontal (AF), Tareas del Stroop (Tarea), Negro(N), Color(C) y Combinado (COM) FUENTE: Creación propia

Figura 2

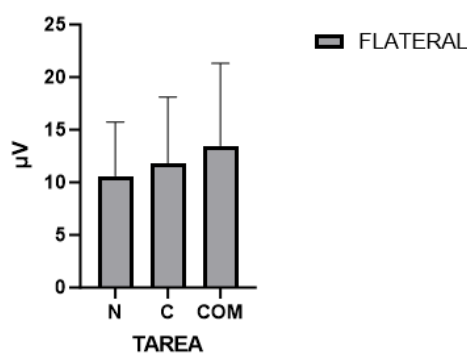
comparación de media por prueba en F Superior (F3, F4)



Nota: medias entre tareas zona frontal superior, se realizó a partir del RMS encontrados medida en microvoltios (μV) (*) para $P < 0,05$. Frontal Superior (FSUPERIOR) FUENTE: Creación propia

Figura 5

comparación de media por prueba en F Lateral (F7, F8)



Nota: Frontal Lateral (FL). FUENTE= Creación propia

En la comparación de tareas por zona se observa un incremento no lineal en la potencia de las señales eléctricas de las ondas beta, indicando que existe una mayor activación en las pruebas consecuentes. Por otro lado, dicho comportamiento demuestra no tener relación con la zona observada, connotando la inexistencia de diferencias significativas entre las pruebas con respecto a las zonas Frontal anterior y Frontal lateral (figura 3,5).

Sin embargo, en la zona Frontal superior se observa una diferencia significativa entre las pruebas N y C (Figura 4). En cuanto a la comparación de la segunda (C) y tercer (COM) tarea en dicha zona, no existen diferencias significativas por lo que el incremento representa una

distribución igual a las otras zonas. El comportamiento que se observa a partir de los datos obtenidos permite deducir que hubo una distribución equitativa de la función a lo largo de las zonas de la corteza frontal.

Discusión

Los resultados obtenidos fueron útiles para determinar que no existen diferencias estadísticas en la activación de las zonas de la corteza prefrontal, esto se entiende a partir de la función de esta, descrita como la región de integración por excelencia, que participa en todas las funciones adaptativas en la conducta (Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2021). Esta idea es soportada por Martin-Martinez (2015) quien comprueba que los procesos en función ejecutiva tras haber realizado pruebas Stroop son iguales.

Ahora bien, la manera en que se relaciona con la corteza prefrontal, tal como lo afirma Chafee, M. V., & Heilbronner, S. R. (2022), es en la toma de decisiones basada en un efecto evolutivo temporal en el cual la participación de la corteza prefrontal es predominante, siendo la zona lateral o corteza prefrontal dorsal la zona que más interacción presenta en dichos procesos. Sin embargo, la interacción de las zonas de la corteza prefrontal demostró ser equitativa entre ellas (Figuras 7-9), posiblemente debido a que los procesos en conjunto pertenecen a capacidades cognitivas para el control de conducta, donde es esencial la interrelación de zonas de la corteza misma Hartman y Sternberg (1993) citados por Lacunza A, (2010).

De igual manera, las capacidades cognitivas, especialmente las complejas, permiten entender esta forma de funcionamiento ya que requieren de procesos autónomos ligados a desarrollos cognitivos como la inhibición de respuestas automáticas (Herreras, E. B. 2014). Es debido a esto, que los resultados muestran un aumento del efecto en ondas beta entre cada prueba,

específicamente en la tarea de interferencia (COM), ya que esta se encarga de medir el desempeño en la velocidad de reacción por control inhibitorio de respuestas conductuales (Golden, C. J. 2020). Esto evidencia el camino que utiliza el cerebro para poder responder en el menor tiempo posible a la tarea, aumentando la frecuencia de las señales eléctricas (Sciotto, 2018).

Sin embargo, los efectos que presenta el ejercicio físico (Watanabe & Tabuchi, 2016b) en la prueba no demuestran tener relación en las tareas para mejorar la capacidad del tiempo de reacción comparado entre ellas (Figura 3-5), entendiendo que el efecto que crea el ejercicio físico en la respuesta de control por inhibición mejora la capacidad de selección de respuesta mas no cuanto tiempo logra ser verbalizada. Por otro lado, existe una relación no lineal en los tiempos de respuesta (Figura 3-5) acoplados a la tarea de lectura (N) dependiente de una sola respuesta conductual (Golden, C. J. 2020), en comparación al reconocimiento de la tonalidad de colores que requiere de otros procesamientos (Golden, 1976a citado por Golden C.J. 2020), aumentando el tiempo de respuesta en al menos un 50% entre cada prueba. El ser necesario un mayor uso del procesamiento es posiblemente la explicación frente al comportamiento en la zona frontal superior ya que esta permite procesos de atención en mayor medida y no solo la verbalización y procesamiento de respuestas (Matzuo. M, 2023)

Ahora bien, se esperó que el ejercicio físico pudiese tener un efecto positivo en el tiempo de respuesta en donde vale la pena discutir sobre la complejidad del estímulo, reflejado en la función ejecutiva de la persona. Así pues, Gutiérrez- Martínez F, (2015) complementa esta idea tras plantear que al requerir más tiempo para responder al estímulo y vocalizarlo es necesaria una mayor activación de la corteza frontal para identificar y dar respuesta hablada a la tarea iniciada, donde Best (2010) citado por Cascales J. et al (2019) comenta que el ejercicio permite mejorar este tiempo

de procesamiento de respuestas gracias a un efecto agudo en la inhibición por estimulación cognitiva al estar realizando la acción.

A pesar de esto, los datos encontrados se alinearon con ideas contrarias a dichos efectos positivos, reflejando que independientemente de la estimulación, como afirma Benzing et al. (2016) el ejercicio físico en adolescentes puede permitir un cambio en algunos de los componentes de la función cognitiva en etapas tardías del desarrollo, pero a pesar de esto, la relación entre el ejercicio físico y sus beneficios en la función ejecutiva requieren de más investigaciones para poder determinar beneficios.

. Además, este comportamiento que se detalla en la teoría de toma de decisión y de evolución por adaptabilidad que desarrolla Maureira et al (2014), donde logra dar cuenta de la función del test Stroop como prueba de confiabilidad en la medición de la interferencia en los procesos cognitivos por inhibición.

Parte de este trabajo investigativo permite plantearse la relación existente entre los procesos de función ejecutiva que se llevan a cabo en el cerebro y el esfuerzo mental conectado con la concentración que puede requerir un individuo para dar respuesta asertiva a los estímulos o demandas del entorno, esto se ve relacionado con lo propuesto por Robollo (2006) citando a Fuster (s.f) quien dice que dentro de distintos elementos como la preparación también es de importancia la atención selectiva de las que destacan la focalizada y la dividida, siendo el enfoque uno o más elementos externos, que en este estudio se representan en el ejercicio físico realizado y la prueba Stroop, donde el nivel de estrés genera impedimento para concentrarse en una sola acción a la vez.

Es posible que, a pesar de que el ejercicio físico no presenta efecto en el desempeño de las tareas desarrolladas durante el estudio, y que activan la producción de neurotrofinas promotoras de

la neurogénesis en el hipocampo, podría ayudar en el desarrollo de tareas como las presentadas en el test Stroop. Esto se ejemplifica en las afirmaciones de Voss (2019) quien cita a Piercy (2018) siendo que los efectos estresores en el organismo pueden ayudar a mejorar la capacidad de memoria a largo plazo por activación de procesos internos.

Igualmente, es necesario ver la razón detrás del uso del 60% de la frecuencia cardiaca como modelo de realización de este estudio. Como se mencionó anteriormente, el ejercicio físico genera un cambio positivo en la memoria siempre que este desarrolle una activación suficiente que genere un estrés y, como lo comenta Maureia (2017) el ejercicio físico trabajado al 60% de la frecuencia cardiaca individual muestra ser el punto donde se ven efectos benéficos en el organismo.

Conclusión

La relevancia de este estudio está dirigida hacia la comprobación del stroop como prueba útil y viable para analizar cambios en la respuesta de la señal de las ondas cerebrales al realizar ejercicio físico, y como al estar bajo los efectos de este se crea una reacción que a pesar de presentar una mayor dificultad en la última fase del test, inhibiendo la posibilidad de mecanizar la respuesta a la prueba, logra dar como fundamento base la incidencia del ejercicio en la frecuencia de las ondas y así mismo, de reforzar la activación de la función ejecutiva.

Además, con respecto al estudio se pudo observar que, el procesamiento efectuado en cada prueba depende más de la complejidad de la tarea, la adecuada activación de la corteza frontal en su totalidad y el tiempo de respuesta hacia el estímulo, identificando que, a tareas más demandantes para el cerebro, se puede mejorar la velocidad en la que este procesa los estímulos.

Finalmente, cada uno de los test de la prueba Stroop demuestra ser eficaz en la activación de ondas cerebrales enfocadas en la concentración y atención. Por otro lado, no se encontraron diferencias en las respuestas del cerebro frente al ejercicio físico realizado, además de no presentar efectos complementarios a la respuesta del sistema nervioso central tras estar realizando la prueba Stroop. Por último, La complejidad de la tarea tiene una relación directa con el comportamiento de la señal de las ondas aumentando su frecuencia y por ende un intervalo mayor de respuesta, indicando que los efectos positivos de activación de las ondas beta dependen de la dificultad de la labor.

Referencias

Okayasu, M., Inukai, T., Tanaka, D., Tsumura, K., Shintaki, R., Takeda, M., Nakahara, K., &

Jimura, K. (2023). The stroop effect involves an excitatory–inhibitory fronto-cerebellar loop. *Nature Communications*, *14*(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35397-w>

Editorial, E. (2008). Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. *Arbor*, *184*(730), 349–352. Recuperado a partir de

<https://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/183>

Gitbook, s.f, Epocx user manual, <https://emotiv.gitbook.io/epoc-x-user-manual/>

UNAM, s.f, Fisiología de la actividad eléctrica del cerebro, Unidad temática 1, sesión 7a, [UTI-práctica-7-a.-Electroencefalograma.pdf \(unam.mx\)](#)

Benetatos C, (2017), imagen, JPEG, 4 Sistema de posicionamiento de electrodos de Emotiv-EPOCx, <https://xribenesite.wordpress.com/2017/10/13/emotiv-epoc-ssvep-bci-part-1/>

- Imboden, C., Gerber, M., Beck, J., Holsboer-Trachsler, E., Pühse, U., & Hatzinger, M. (2020). Aerobic exercise or stretching as add-on to inpatient treatment of depression: similar antidepressant effects on depressive symptoms and larger effects on working memory for aerobic exercise alone. *Journal of Affective Disorders*, 276, 866-876.
<https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.07.052>
- Contreras-Osorio, F.; Ramirez-Campillo, R.; Cerda-Vega, E.; Campos-Jara, R.; Martínez-Salazar, C.; Araneda, R.; Ebner-Karestinos, D.; Arellano-Roco, C.; Campos-Jara, C. Effects of Sport-Based Exercise Interventions on Executive Function in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 12573. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912573>
- Tervo-Clemmens, B., Calabro, F. J., Parr, A. C., Fedor, J., Foran, W., & Luna, B. (2023). A canonical trajectory of executive function maturation from adolescence to adulthood. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42540-8>
- Golden, C. J. (2020). STROOP. Test de Colores y Palabras – Edición Revisada (B. Ruiz-Fernández, T. Luque y F. Sánchez-Sánchez, adaptadores). Madrid: TEA Ediciones.
- Peinado, A.B.; Benito, P.J.; Lorenzo, I.; Maffulli, N.; Brito-Ojeda, E.; Ruiz-Caballero, J.A. y Calderón, F.J. (2014). Cálculo del área entre umbrales ventilatorios: un método para examinar la transición aeróbica-anaeróbica / Calculation of the interventilatory threshold area: a method for examining the aerobic-anaerobic transition. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 14 (53) pp. 105-117.
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista53/artcalculo430.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista53/artcalculo430.htm)
- Gebodh, N., Esmailpour, Z., Adair, D., Chelette, K. C., Dmochowski, J., Woods, A. J., Kappenman, E. S., Parra, L. C., & Bikson, M. (2019). Inherent physiological artifacts in

EEG during TDCS. *NeuroImage*, 185, 408-424.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.025>

Stein, M., Auerswald, M., & Ebersbach, M. (2017). Relationships between motor and executive functions and the effect of an acute coordinative intervention on executive functions in kindergartners. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00859>

Voss, M. W., Soto, C., Yoo, S. Y., Sodoma, M. J., Vivar, C., & Van Praag, H. (2019). Exercise and hippocampal memory systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(4), 318-333.

<https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.01.006>

Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30(4), 331-351.

<https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>

Epoch XT User Manual PDF - Bing. (s. f.). Bing.

<https://www.bing.com/search?q=epoch+xt+user+manual+pdf&q=epoch+x+&sk=SC4&sc=10->

[8&cvid=FB370CE091694D7CBE3260DD8DFA4D14&FORM=QBRE&sp=5&ghc=1&lq=0#](https://www.bing.com/search?q=epoch+xt+user+manual+pdf&q=epoch+x+&sk=SC4&sc=10-8&cvid=FB370CE091694D7CBE3260DD8DFA4D14&FORM=QBRE&sp=5&ghc=1&lq=0#)

Cid, F. M. (2018). *Principios de neuroeducación física*. Bubok.

Ludyga, S., Gronwald, T., & Hottenrott, K. (2016). Effects of high vs. low cadence training on cyclists' brain cortical activity during exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(4), 342-347. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.04.003>

Souissi, A., Haddad, M., Dergaa, I., Saad, H. B., & Chamari, K. (2021). A new perspective on cardiovascular drift during prolonged exercise. *Life Sciences*, 287, 120109.

<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.120109>

- Augusto-Oliveira, M., De Paula Arrifano, G., Leal-Nazaré, C. G., Santos-Sacramento, L., Lopes-Araújo, A., Royes, L. F. F., & Crespo-López, M. E. (2023). Exercise reshapes the brain: molecular, cellular, and structural changes associated with cognitive improvements. *Molecular Neurobiology*. <https://doi.org/10.1007/s12035-023-03492-8>
- Düzel, E., Van Praag, H., & Sendtner, M. (2016). Can physical exercise in old age improve memory and hippocampal function? *Brain*, *139*(3), 662-673.
<https://doi.org/10.1093/brain/awv407>
- Vivar, C., Peterson, B. F., Pinto, A., Janke, E., & Van Praag, H. (2023). Running throughout Middle-Age keeps old Adult-Born neurons wired. *ENeuro*, *10*(5), ENEURO.0084-23.2023. <https://doi.org/10.1523/eneuro.0084-23.2023>
- Erickson, K. I., Miller, D. L., Weinstein, A. M., Akl, S., & Banducci, S. E. (2012). Physical Activity and Brain Plasticity in Late Adulthood: A Conceptual and Comprehensive review. *Ageing Research*, *3*(1), 6. <https://doi.org/10.4081/ar.2012.e6>
- Flores-Lázaro, J. C., Castillo-Preciado, R. E., & Jiménez-Miramonte, N. A. (2014). Desarrollo de funciones ejecutivas, de la niñez a la juventud. *Anales De Psicología*, *30*(2).
<https://doi.org/10.6018/analesps.30.2.155471>
- Barreto, L. C. R., Del Carmen Pulido, N., & Pineda-Roa, C. A. (2016). Propiedades psicométricas del Stroop, test de colores y palabras en población colombiana no patológica. *Universitas Psychologica*, *15*(2), 255.
<https://doi.org/10.11144/javeriana.upsy15-2.ppst>

Grodzinsky, G. M., & Diamond, R. (1992). Frontal lobe functioning in boys with attention-deficit hyperactivity disorder. *Developmental Neuropsychology*, 8(4), 427-445.

<https://doi.org/10.1080/87565649209540536>

Martín-Martínez, I., Chiroso, L. J., Reigal-Garrido, R. E., Mendo, A. H., Juárez-Ruiz-De-Mier, R., & Guisado-Barrilao, R. (2015). Efectos de la actividad física sobre las funciones ejecutivas en una muestra de adolescentes. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. <https://doi.org/10.6018/analesps.32.1.171601>

Matsuo, M., Higuchi, T., Miyabara, H., Higashijima, M., Oshikawa, T., Nakamura, M., Yamaguchi, Y., & Higashionna, T. (2023). Assessing attentional task-related electroencephalogram signal variations by using mobile electroencephalogram technology: an experimental study. *Medicine*, 102(42), e35801.

<https://doi.org/10.1097/md.00000000000035801>

Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebbers, C. M. (2015). The effects of qualitatively different acute physical activity interventions in real-world settings on executive functions in preadolescent children. *Mental Health and Physical Activity*, 9, 1-9.

<https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2015.05.002>

Tirapu-Ustárrroz J, Cordero-Andrés P, Luna-Lario P, Hernáez-Goñi P. Propuesta de un modelo de funciones ejecutivas basado en análisis factoriales. *Rev Neurol* 2017; 64: 75-84.

Gutiérrez-Martínez, F., Ramos-Ortega, M., & Cháves, J. O. V. (2017). Eficacia ejecutiva en tareas de interferencia tipo Stroop. Estudio de validación de una versión numérica y manual (CANUM). *Anales De Psicología*, 34(1), 184.

<https://doi.org/10.6018/analesps.34.1.263431>

- Friedman, N. P., & Robbins, T. W. (2021). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 47(1), 72-89.
<https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>
- Chafee, M. V., & Heilbronner, S. R. (2022). Prefrontal cortex. *Current Biology*, 32(8), R346-R351. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.02.071>
- Jiménez Vaquerizo, E. (2019). Educación Física y desarrollo cognitivo. *Lecturas: Educación Física Y Deportes*, 24(257), 90-102. Recuperado a partir de <https://efdeportes.com/efdeportes/index.php/EFDeportes/article/view/990>
- Herreras, E. B. (2014). Funciones ejecutivas: nociones del desarrollo desde una perspectiva neuropsicológica. *Acción Psicológica*, 11(1), 21-34. <https://doi.org/10.5944/ap.1.1.13789>
- Lacunza, A. B., Contini de González, N., y Castro Solano, A. (2010). Las habilidades cognitivas en niños preescolares : un estudio comparativo en un contexto de pobreza. *Acta Colombiana de Psicología*, 13(1), 25–34. Recuperado a partir de <https://actacolombianapsicologia.ucatolica.edu.co/article/view/38>
- Flores, E., Maureira, F., Díaz-Muñoz, H., & Navarro-Aburto, B. (2020). Modificaciones neurofisiológicas de ondas beta durante un test atencional tras una intervención de ejercicio físico. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 15(44), 201-211.
- Cascales, J. Á. M., López, F. A., Díaz, A. C., & Vélez, D. C. (2019). Efecto del ejercicio y la actividad física sobre las funciones ejecutivas en niños y en jóvenes. una revisión sistemática. *Sport TK*, 8(2), 43-53. <https://doi.org/10.6018/sportk.391741>
- Benzing, V., Heinks, T., Eggenberger, N., & Schmidt, M. (2016). Acute cognitively engaging Exergame-Based physical activity enhances executive functions in adolescents. *PLOS ONE*, 11(12), e0167501. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167501>

Rodríguez, A. C. (2019). *Estudio clínico, neurocognitivo y análisis espectral del electroencefalograma en pacientes con enfermedad de Alzheimer.*

<https://doi.org/10.35376/10324/16526>

ANEXOS

Anexo1

Comparación de pares zona*tarea (Stroop)

zonas	Stroop	Stroop	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
						Límite inferior	Límite superior
AF	N	C	-1,155	0,428	0,055	-2,332	0,021
		COM	-2,427	0,957	0,074	-5,054	0,201
	C	N	1,155	0,428	0,055	-0,021	2,332
		COM	-1,271	0,694	0,270	-3,178	0,635
	COM	N	2,427	0,957	0,074	-0,201	5,054
		C	1,271	0,694	0,270	-0,635	3,178
FL	N	C	-1,128	0,484	0,110	-2,458	0,201
		COM	-2,968	1,344	0,137	-6,659	0,723
	C	N	1,128	0,484	0,110	-0,201	2,458
		COM	-1,840	1,198	0,445	-5,129	1,449
	COM	N	2,968	1,344	0,137	-0,723	6,659
		C	1,840	1,198	0,445	-1,449	5,129
FS	N	C	-1,217*	0,430	0,042	-2,397	-0,037

	COM	-2,879	1,148	0,079	-6,032	0,273
C	N	1,217*	0,430	0,042	0,037	2,397
	COM	-1,662	1,020	0,382	-4,462	1,139
COM	N	2,879	1,148	0,079	-0,273	6,032
	C	1,662	1,020	0,382	-1,139	4,462
